



PRZEDSIĘBIORSTWO BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

w Warszawie sp. z o. o.

ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa

ODDZIAŁ GEOFIZYKI we Wrocławiu

ul. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław

Tel. + 22 811 25 56; + 22 811 27 07; + 22 486 41 00

Fax. + 22 811 25 19; + 22 486 40 46

e-mail: pbg@pbg.com.pl

www.pbg.com.pl

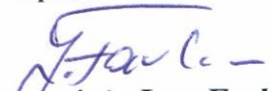
Zleceniodawca :


GMINA ŁĄDEK ZDRÓJ

ul. Rynek 31, 57-540 Łądek Zdrój

***Dokumentacja badań geofizycznych
metodą Ciągłego Profilowania Magnetotellurycznego (CPMT)
wykonanych w rejonie Łądka Zdroju
w celu głębokiego rozpoznania strefy tektonicznych
dla potrzeb określenia perspektyw występowania wód geotermalnych***

Opracowali:


mgr inż. Jan Farbisz
(upr. geof. X-0110)


dr inż. Marek Wojdyła
(upr. geof. X-0204)

Wrocław , 2008 rok

Spis treści :

	Str.
I. WSTĘP.	3
II. LOKALIZACJA I ZAKRES WYKONANYCH POMIARÓW CPMT.....	4
III. METODYKA POMIARÓW.	5
IV. PRZETWARZANIE DANYCH POMIAROWYCH, INTERPRETACJA I WYNIKI BADAŃ.	6
V. WNIOSKI.....	8

Załączniki graficzne :

- Zał. 1 – Mapa dokumentacyjna z elementami wynikowymi wykonanych badań**
- Zał. 2a – Przekrój geoelektryczny MT-I**
- Zał. 2b – Przekrój geoelektryczny MT-II**
- Zał. 2c – Przekrój geoelektryczny MT-III**

I. WSTĘP.

Badania geofizyczne dokumentowane niniejszym opracowaniem zrealizowano na zlecenie GMINY ŁĄDEK ZDRÓJ na podstawie Umowy nr 00230/002/2008 zawartej w dn. 20.06.2008 r. uzupełnionej Aneksem nr 1 z dn. 10.08.2008 r.

Badania te stanowią kontynuację pomiarów geofizycznych z 2005 r., udokumentowanych „Sprawozdaniem z badań geofizycznych wykonanych dla potrzeb rozpoznania warunków występowania wód geotermalnych w rejonie Łądka Zdroju (J.Farbisz, 2005).

W ramach tych badań zastosowano dwie metody geofizyczne ukierunkowane na płytkie (wstępne) rozpoznanie perspektywicznych stref tektonicznych:

- Profilowanie metodą radiofaloną VLF do weryfikacji przebiegu i określenia charakteru stref tektonicznych rozważanych jako potencjalne drogi prowadzenia wód geotermalnych
- Pomiary metodą sondowań geoelektrycznych-elektrooporowych (SGE) dla rozpoznania perspektywicznych stref uskokowych pod kątem określenia sposobu ich zapadania do głębokości rzędu 250-300 m ppt.

Na podstawie tych badań zweryfikowano przebiegi i określono charakter głównych uskoków wykazywanych na szkicu tektonicznym rejonu Łądka Zdroju J.Gierwielańca. W podsumowaniu badań z 2005 r. przedstawiono m in. następujące wnioski:

- Z wykonanych pomiarów VLF ukierunkowanych na weryfikację głównych stref uskokowych wynika, że wszystkie przebadane uskoki o ukierunkowaniu NW - SE znajdują potwierdzenie w wynikach pomiarów, manifestując się w większości intensywnymi anomaliami.
Interpretacja wykonanych profili wskazuje, że z punktu widzenia poszukiwania wód termalnych najbardziej obiecująco przedstawiają się uskoki Łądka – Gierałtowa i Rasztowca – Karpna (Łądka-Bielic wg Z.Cymermana), które prezentują się jako strefy tektoniczne utworzone z równoległych, rozgałęziających się uskoków. Uskok Łądka – Karpna zweryfikowany 1 profilem (prof. nr 6) manifestuje się niezbyt intensywną, aczkolwiek bardziej rozszerzoną anomalią. Być może na innych odcinkach strefa tego uskoku eksponuje się bardziej wyraziście.
- Z interpretacji profili 7, 8 penetrujących uskok Łądka Zdroju wynika, że strefa tego uskoku manifestuje się anomalią o szerokości 50-70 m osiągającą amplitudę rzędu 15% (II klasy). Wykazuje wyraźnie liniową korelację generalizującą przebieg uskoku Łądka Zdroju znaczony na mapach geologicznych. Opracowane przekroje geoelektryczne wskazują, że płaszczyna uskoku zapada stromo, z lekkim odchyleniem na NW.

Z analizy przekrojów geoelektrycznych wynika również, że uskokowi Łądka Zdroju towarzyszy strefa obniżenia oporowego, płasko zapadająca w kierunku SE, która może być identyfikowana jako element o charakterze tektonicznym (uskok, nasunięcie?).

- Uzyskane wyniki badań potwierdzają przesłanki geologiczne na występowanie wód geotermalnych w rejonie Łądka Zdroju, uzasadniając realizację planowanego przez Gminę Łądek Zdrój przedsięwzięcia budowy ujęcia tego typu wód. Skala przedsięwzięcia, związana z koniecznością wykonania odwiertu o głębokości rzędu 1500-2000 m wymusza dążenie do uzyskania maksymalnego prawdopodobieństwa pozytywnego wyniku wiercenia. Istotnym uzupełnieniem studialnych prac geologicznych zespołu opracowującego projekt wiercenia powinny być pomiary metodą ciągłego profilowania magnetotellurycznego (CPMT), rekomendowane w literaturze światowej jako najskuteczniejsza metoda poszukiwania wód geotermalnych. Badania metodą CPMT umożliwią rozpoznanie perspektywicznych stref występowania wód geotermalnych do głębokości 2-3 km i ustalenie optymalnej lokalizacji wiercenia (wierceń).
- Z badań geofizycznych, które powinny być przydatne do wyselekcjonowania najbardziej perspektywicznych stref, można rozważyć również zastosowanie merkurometrii - metody oznaczania zawartości rtęci w glebie. W publikacjach dotyczących problematyki wód geotermalnych wykazano, że anomalie zawartości rtęci są bardzo dobrym wskaźnikiem stref tektonicznych o głębokich założeniach, perspektywicznych dla poszukiwania tego typu wód.

Wykonane obecnie badania metodą Ciągłego Profilowania Magnetotellurycznego (CPMT) czynią zadość wnioskowi zawartemu w sprawozdaniu z 2005 r. Uzyskane wyniki potwierdzają wysoką efektywność zastosowanej metody dla potrzeb głębokiego rozpoznania stref tektonicznych. Na ich podstawie, po konsultacji z upoważnionym ekspertem Urzędu Gminy – Prof. dr. hab. Wojciechem Ciężkowskim, przedstawiono 2 propozycje lokalizacji głębokich wierceń. Stwarzają one realne przesłanki na ujęcie wód geotermalnych uzasadniając wykonanie projektu prac geologicznych stanowiącego formalną i merytoryczną podstawę dla realizacji tego przedsięwzięcia.

II. LOKALIZACJA I ZAKRES WYKONANYCH POMIARÓW CPMT.

Uwzględniając określony w umowie zakres zleconych badań, do pomiarów CPMT wytypowano 3 główne strefy tektoniczne rejonu Łądka Zdroju rozpoznane metodami VLF i SGE w 2005 r.

Lokalizację wykonanych profili, oznaczonych symbolami MT-I, MT-II, MT-III, przedstawiono na mapie dokumentacyjnej (zał. nr 1) w skali 1 : 10 000 na tle elementów wynikowych badań przeprowadzonych w 2005 r.

Poszczególne profile, o sumarycznej długości 1.9 km zlokalizowano na odcinkach stref tektonicznych, w miejscach umożliwiającym przeprowadzenie nie zakłóconych infrastrukturą energetyczną rejestracji:

- profil MT-I o długości 0.7 km – w strefie uskoku (uskoków) Rasztowiec - Karpno
- profil MT-II o długości 0.5 km – w strefie uskoku (uskoków) Łądek – Gieratów
- profil MT-III o długości 0.7 km – w strefie uskoku (nasunięcia) Łąka Zdroju

III. METODYKA POMIARÓW.

W przeprowadzonych pomiarach CPMT zastosowano aparaturę systemu 2000.net kanadyjskiej firmy Phoenix Geophysics Limited w wariantcie wysokoczęstotliwościowym zwanym, od pasma rejestrowanego pola naturalnego, metodą audio-magnetotelluryczną (AMT). Aparatura pomiarowa zawierała następujące elementy składowe:

- 3 odbiorniki typu V8-6R,
- 2 odbiorniki typu RXU-3ER,
- cewki magnetyczne typu AMTC-30,

Bezpośrednio przed pomiarami wykonano prace geodezyjne oraz kalibrację aparatury pomiarowej i czujników pola magnetycznego. Pomiary audiomagnetotelluryczne polegały na rejestracji przebiegów czasowych składowych naturalnego pola elektromagnetycznego w paśmie 0,1-10 000 Hz. Oscylacje pola elektromagnetycznego w tym zakresie generowane są przez odległe wyładowania atmosferyczne.

Podstawowy układ pomiarowy AMT na poszczególnych stanowiskach profilu składał z odbiornika V8-6R i/lub odbiornika RXU-3ER co pozwalało na równoczesną rejestrację pola audio-magnetotellurycznego przy pomocy dwóch par wzajemnie prostopadłych dipoli elektrycznych E_x , E_y o długościach 100 m, oraz trzech czujników magnetycznych typu AMTC-30 do pomiaru składowych odpowiednio H_x , H_y , H_z , zlokalizowanych w pobliżu środka linii dipoli elektrycznych. Dipole elektryczne zbudowane były z kabla ekranowanego typu CX-75 i pary uziemień w postaci elektrod niepolaryzujących PE4 (Pb/PbCl₂). Linie elektryczne i magnetyczne podłączono bezpośrednio do odbiornika V8-6R natomiast dodatkowe linie elektryczne do odbiornika RXU-3ER. Przebiegi czasowe zapisywane były bezpośrednio i niezależnie w każdym odbiorniku na kartach pamięci typu CompactFlash512MB. Poziome składowe magnetyczne rejestrowano przy azymucie takim samym jak dla dipoli elektrycznych. W celu eliminacji wpływu zakłóceń elektromagnetycznych pomiary wykonywane były dwupunktowo z tzw. *zdalnym punktem odniesienia* (punkt referencyjny), na którym zapisywano składowe elektryczne i magnetyczne. Punkt referencyjny zlokalizowany był w miejscowości Chyrowa w okolicach Przemysła.

W konsekwencji zastosowania omówionego powyżej układu pomiarowego rejestrowano:

- dwie pary składowych elektrycznych na punkcie profilowym: E_x , E_y ,
- dwie poziome i jedną pionową składową magnetyczną na punkcie profilowym: H_x , H_y , H_z ,
- dwie składowe elektryczne na punkcie referencyjnym: E_{x-r} , E_{y-r} ,
- dwie składowe magnetyczne na punkcie referencyjnym: H_{x-r} , H_{y-r} .

Standardowy czas rejestracji w pojedynczym punkcie pomiarowym wynosił około 8 godzin. Rejestracje przebiegów czasowych prowadzono niezależnie w trzech zakresach częstotliwości oznaczonych: .ts2, .ts3, .ts4, o częstotliwościach próbkowania odpowiednio: 24000 Hz, 2400 Hz i 150 Hz. Przebiegi czasowe rejestrowane w paśmie ts2 i ts3 zapisywane były w rekordach o długości 0,1 sekundy, natomiast przebiegi czasowe z pasma ts4 rejestrowane były w sposób ciągły, co poprzez zastosowanie technik decymacji pozwoliło na otrzymanie wartości impedancji w dolnym zakresie częstotliwości pasma audiomagnetotellurycznego. Synchroniczne rejestracje na punktach polowym i referencyjnym skopiowano następnie na dyski kompaktowe tworząc zbiory wejściowe do przetwarzania danych.

IV. PRZETWARZANIE DANYCH POMIAROWYCH, INTERPRETACJA I WYNIKI BADAŃ.

Zarejestrowane przebiegi czasowe były przedmiotem wielostopniowego processingu numerycznego. Processing został wykonany przy użyciu procedur typu „robust” zaimplementowanych do oprogramowania SSMT2000 firmy Phoenix Geophysics Ltd.

„Robust processing” to statystyczna, iteracyjna metoda interpretacji oparta na zasadzie najmniejszych kwadratów. W trakcie przetwarzania danych z zastosowaniem estymatorów typu „robust” identyfikuje się i eliminuje dane związane z szumami, których rozkład odbiega od rozkładu normalnego i których niewielka ilość może znacząco obciążać estymowany parametr (impedancje).

Przetwarzanie danych w procedurze „robust” odbywa się w następujących etapach:

- grupowanie plików pomiarowych (.tbl, .tsr) w zsynchronizowanych grupach czasowych,
- weryfikacja wizualna danych – selekcja w domenie czasu,
- obliczanie dyskretnej transformaty Fouriera (DFT) dla fragmentów przebiegów czasowych polowych i referencyjnych (z zastosowaniem FFT – Szybkiej Transformaty Fouriera),
- konstrukcja zbioru parametrycznego (*.prm) do przetwarzania danych metodą robust,
- przetwarzanie danych – estymacja składowych impedancji (zbiory *.?mt, *.mt?).

Drugi etap przetwarzania danych obejmuje przygotowanie krzywych sondowań (amplitudowych i fazowych) do interpretacji poprzez edycję ich poszczególnych składowych spektralnych. Wykorzystuje się do tego program komputerowy MT-Editor. Zbiorem wyjściowym są dane magnetotelluryczne zapisane w międzynarodowym formacie SEG-Edi.

Przetworzone dane pomiarowe poddano procedurom interpretacyjnym przy pomocy oprogramowania WinGLink firmy Geosystem srl. oraz Surfer 8.0 firmy Golden Software.

Przed przystąpieniem do zasadniczej interpretacji ilościowej dokonano jakościowej analizy wyników badań. Miała ona na celu głównie:

- określenie zmienności kształtu krzywych wzdłuż profili,
- wyznaczenie stref danych zakłóconych – a więc obszarów niższej wiarygodności interpretacji,
- wyznaczenie zasięgu głębokościowego dla metody AMT,
- zdefiniowanie charakteru (1D, 2D, 3D) ośrodka geoelektrycznego,

W ramach interpretacji ilościowej dokonano przeliczenia oporności z funkcji częstotliwości rejestrowanego pola magnetotellurycznego na głębokości ośrodka geologicznego. Przeliczeń tych dokonano stosując procedury inwersji 1D (jednowymiarowej) wg algorytmu Occama, która polega na komputerowej aproksymacji jednowymiarowego rozkładu oporności w ośrodku geologicznym na podstawie amplitudowych i fazowych krzywych sondowań. Podstawowym założeniem tej metody jest dążenie do uzyskania maksymalnie płynnego rozwiązania. W rezultacie rozkład oporności w ośrodku geologicznym jest zgeneralizowany i pozbawiony wyraźnych kontrastów. W praktyce zakłada się model startowy w postaci ośrodka poziomo warstwowanego o miąższościach warstw rosnących regularnie z głębokością, zgodnie ze skalą logarytmiczną. Procedura minimalizacji funkcji błędu, opisującej rozbieżność danych pomiarowych i obliczonych dla założonego modelu skonstruowana została w taki sposób, aby gradient oporności były minimalny. W rezultacie, dla założonej a priori ilości warstw w modelu startowym, zmianom podlegają ich oporności. Niewątpliwą zaletą metody jest jej pełna automatyzacja. Ingerencja interpretatora sprowadza się do przygotowania danych, wprowadzenia ilości warstw oraz określenia interwału głębokościowego interpretacji.

Finalnym efekt zastosowanych procedur interpretacyjnych stanowią głębokie przekroje geoelektryczne MT-I, MT-II i MT-III prezentowane na zał. nr 2a, 2b, 2c.

Strukturę przebadanego geologicznego obrazuje na tych przekrojach rozkład izolinii oporu elektrycznego (tzw. izoomów) ze skalą kolorystyczną eksponującą kontrasty oporowe serii skalnych.

Kontrasty oporowe w warunkach geologicznych rejonu Łódka Zdroju odzwierciedlają zróżnicowanie litologiczne serii skalnych, wysokooporowych gnejsów i niżejoporowych łupków metamorficznych oraz występowaniem zjawisk tektonicznych. Typowym objawem zjawisk tektonicznych jest obniżenie wartości oporu elektrycznego związane z procesami spękania i zwięzienia skał, krążenia wód podziemnych (w tym geotermalnych) i często występowaniem mineralizacji rudnych. Klasycznymi obrazami uskoków perspektywicznych dla występowania wód termalnych, prezentowanymi w literaturze światowej, są przekroje geoelektryczne ze strefami anomalnie niskich wartości oporów (rzędu kilku kilkudziesięciu omometrów) uważanymi za złoża wód termalnych.

Biorąc pod uwagę konfigurację i zróżnicowanie wartości izoform, na załączonych przekrojach przedstawiono najważniejsze elementy interpretacji geologicznej. Wyznaczono osie stref tektonicznych o zapadaniu wertykalnym, uskoku poprzecznych oraz przypuszczalną płaszczyznę nasunięcia związanego z uskokiem (nasunięciem ?) Łądka Zdroju.

Wyeksponowano również odcinki silnego zaangażowania tektonicznego stref uskoku manifestujące się anomalnie obniżonymi wartościami oporu elektrycznego. Stwarzają one wysokie prawdopodobieństwo występowania wód geotermalnych, szczególnie w głębszych partiach.

Uwzględniając charakter i sposób zapadania stwierdzonych stref tektonicznych, na liniach przekrojów MT-III i MT-I wyznaczono optymalne lokalizacje I, II głębokich wierceń dla potrzeb ujęcia wód geotermalnych.

V. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.

1. Wyniki przeprowadzonych badań metodą Ciągłego Profilowania Magnetotellurycznego (CPMT) spełniają postawione przed geofizyką zadanie głębokiego rozpoznania stref tektonicznych rejonu Łądka Zdroju dla potrzeb określenia perspektyw występowania wód geotermalnych.

Na zamieszczonych w dokumentacji przekrojach geolektrycznych MT-I, MT-II, MT-III przedstawiono charakter i sposób zapadania stref tektonicznych do głębokości rzędu 2500 m eksponując odcinki silnego zaangażowania tektonicznego z wysokim prawdopodobieństwem występowania wód geotermalnych.

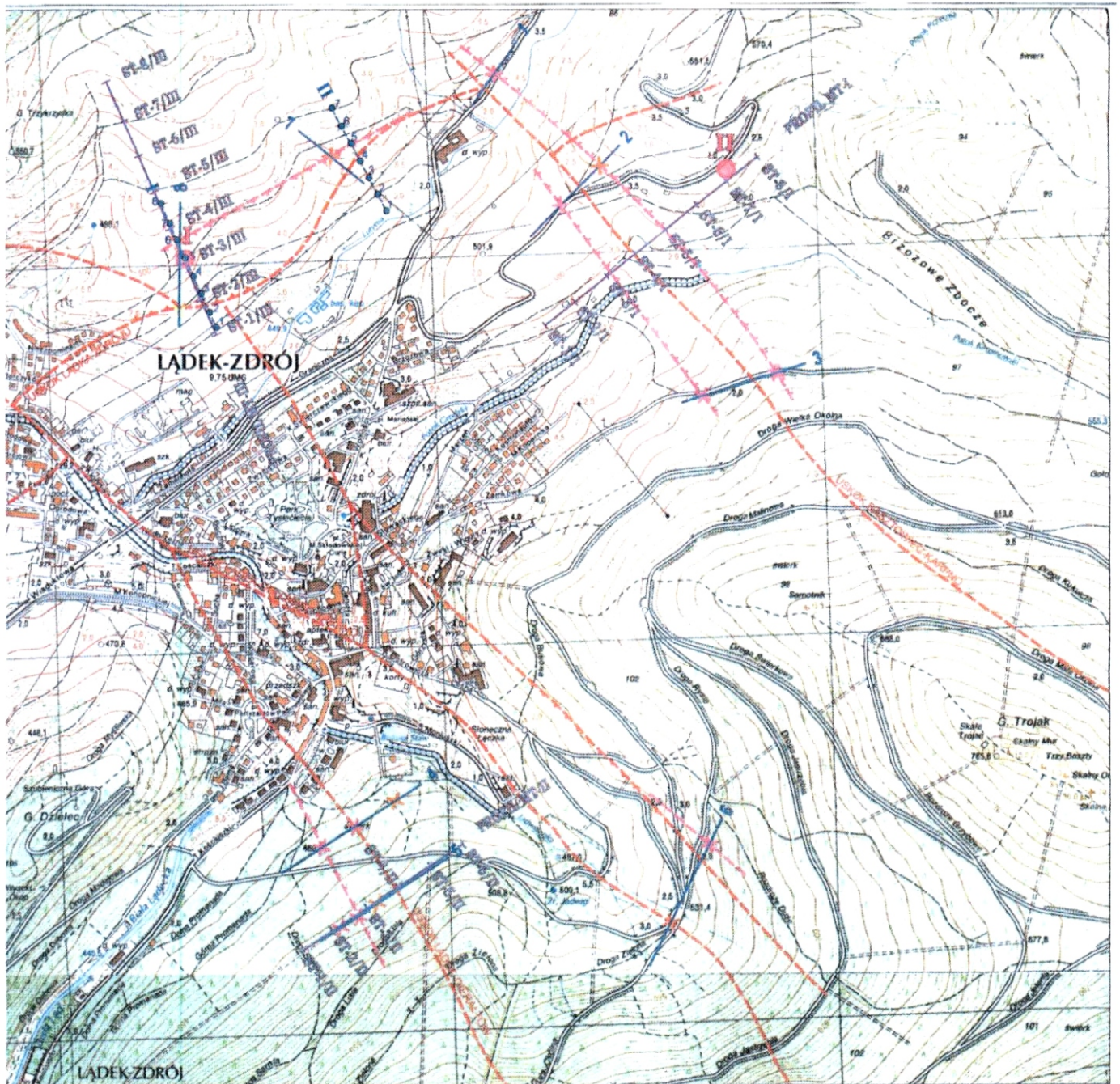
Opracowane przekroje geoelektryczne potwierdzają skomplikowany obraz tektoniki rejonu Łądka Zdroju sygnalizowany w opracowaniach geologicznych różnych autorów. Klasyfikują stwierdzone uskoki pod względem perspektyw występowania wód geotermalnych, uzasadniając podjęcie dalszych prac zmierzających do pozyskania tych wód, opracowania projektu geologicznego i wykonania wierceń we wskazanych miejscach.

2. Interpretacja wykonanych badań uzasadnia projektowanie 2 głębokich wierceń poszukiwawczych za wodami geotermalnymi w miejscach oznaczonych na mapie dokumentacyjnej numerami I i II uwzględniających preferencje geologiczne.

Otwór nr I zlokalizowany na przekroju MT-III w miejscu stanowiska pomiarowego ST-3/III ukierunkowany na rozpoznanie głębokiej strefy tektonicznej związanej z uskokiem Łądka Zdroju z docelową głębokością wiercenia 2000 m z możliwością przegłębienia do 2500 m w przypadku nie uzyskania satysfakcjonujących dopływów wód termalnych. Wiercenia we wskazanym miejscu stwarza możliwość uzyskania dopływów wody już z płytszych interwałów 250-400 m (strefa nasunięcia), 600-1000 m w, zarejestrowano strefy anomalnie obniżonych wartości oporów elektrycznych sygnalizujących odcinki silnego zaangażowania tektonicznego i możliwość występowania wód termalnych.

Otwór nr II na przekroju MT-I w pobliżu stanowiska ST-7/I o docelowej głębokości 2500 m, ukierunkowany na rozpoznanie zapadających na NE stref tektonicznych zarejestrowanych na profilach radiofalowych związanych z uskokiem Rasztowiec – Karpno. Perspektywiczne odcinki silnego zaangażowania tektonicznego występują w interwałach głębokości : 500 - 800 m (strefa pierwszego uskoku) i 2200-2500 m (strefa drugiego uskoku)

3. Wyniki interpretacji pomiarów CPMT na profilu MT-II nie dają wystarczająco obiecujących przesłanek na występowanie zasobnych złóż wód geotermalnych w strefach uskoku Łądek – Gieratów i Łądek – Orłowiec – Karpno. Przekrój geoelektryczny MT-II potwierdza głębokie założenia tektoniczne tych uskoku i ich generalne zapadanie na SW, nie zarejestrowano jednak charakterystycznych stref obniżenia oporowych sygnalizujących zjawiska sprzyjające występowaniu wód geotermalnych. Wykonane badania nie wykluczają wymienionych uskoku jako potencjalnych stref występowania wód termalnych, jednak decyzja o podjęciu działań w postaci projektowania głębokiego wiercenia wymaga dalszych badań, ograniczających ryzyko poszukiwawcze.











**Dokumentacja badań geofizycznych
metodą Ciągłego Profilowania Magnetotellurycznego (CPMT)
wykonanych w rejonie Łądka Zdroju
w celu głębokiego rozpoznania stref tektonicznych
dla potrzeb określenia perspektywy występowania wód geotermalnych**

Zal. 1

MAPA DOKUMENTACYJNA Z ELEMENTAMI WYNIKOWYMI WYKONANYCH BADAŃ

skala 1 : 10 000

Objaśnienia:

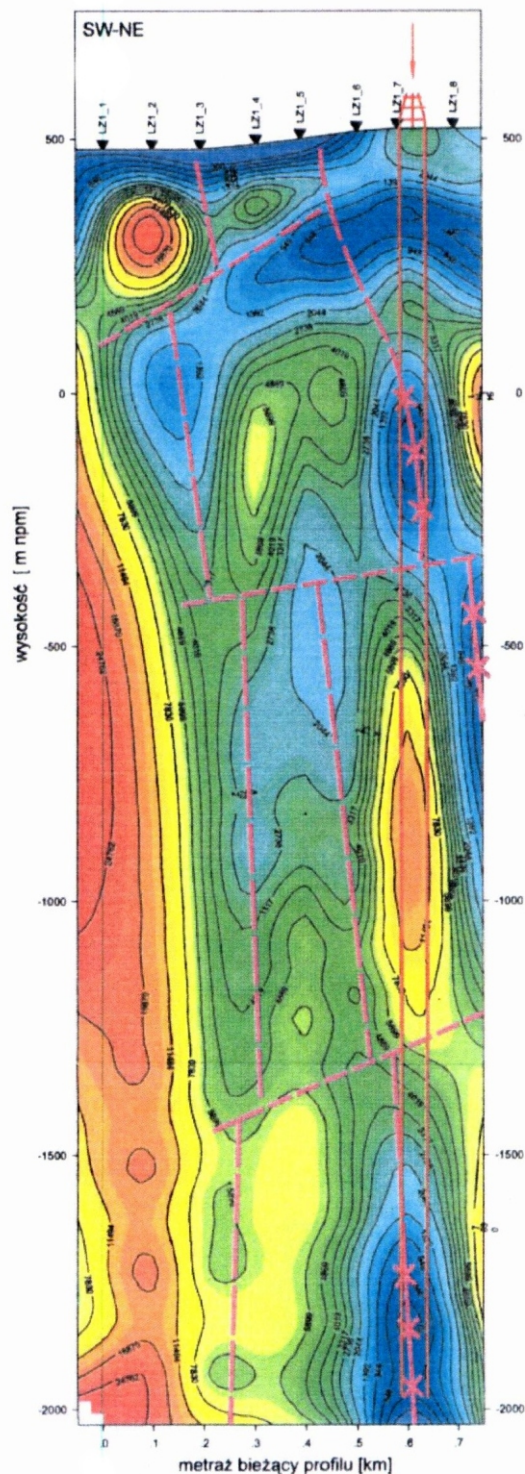
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">  - profile radiofalowe VLF i sondowania geoelektryczne-elektrooporowe (SGE) wykonane w 2005 r. w ramach wstępnego rozpoznania warunków występowania wód geotermalnych w rejonie Łądka Zdroju  - przekroje geoelektryczne opracowane na podstawie pomiarów SGE zamieszczone w sprawozdaniu z badań 2005 r.  - profile ze stanowiskami pomiarowymi CPMT wykonane w 2008 r. -linie głębokich przekrojów geoelektrycznych | <ul style="list-style-type: none">  - uskoki wg szkieletu tektonicznego okolic Łądka Zdroju J.Gierwelańca  - strefy anomalii zarejestrowane na profilach VLF z 2005 r. - I, II, i III rzędu  - przebiegi głównych uskoków wg korelacji stref anomalii VLF  - uskoki o głębokich założeniach tektonicznych z oznaczeniem kierunku zapadania i strefa o charakterze nasunięcia związana z uskokiem Łądka Zdroju wg interpretacji przekrojów magnetotellurycznych  - optymalne lokalizacje głębokich wierceń dla potrzeb ujęcia wód geotermalnych |
|--|--|

**Dokumentacja badań geofizycznych
metodą Ciągłego Profilowania Magnetotellurycznego (CPMT)
wykonanych w rejonie Łądku Zdroju
w celu głębokiego rozpoznania stref tektonicznych
dla potrzeb określenia perspektyw występowania wód geotermalnych**

Zał. nr 2a

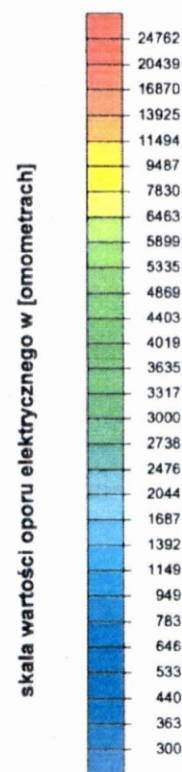
PRZEKRÓJ GEOELEKTRYCZNY MT-I

(IZOOMY WARTOŚCI OPORU ELEKTRYCZNEGO NA PODSTAWIE INWERSJI 1D WG ALGORYTMU OCCAMA)
SKALA 1 : 10 000



Objaśnienia:

▼ - stanowiska pomiarowe CPMT



ELEMENTY INTERPRETACJI GEOLOGICZNEJ:

- osie stref tektonicznych

- odcinki silnego zaangażowania tektonicznego z wysokim prawdopodobieństwem występowania wód geotermalnych w głębszych partiach

- optymalna lokalizacja wiercenia dla potrzeb ujęcia wód geotermalnych

Łądek Zdrój
Sud2008
Profil MT-I